View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Samara University

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ ТРЕЩИНЫ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

А. И. Харовюк

Самарский государственный аэрокосмический университет
им. академика С.П. Королева,
harovuyk.anna@mail.ru

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) представляет собой процесс закачки жидкости в пласт при давлении, превосходящим предел прочности породы, при котором происходит ее разрушение и образование трещины. При повышении давления в породах пласта образуются новые или открываются, или расширяются имеющиеся трещины. Этот метод применяется для освоения скважин, для повышения продуктивности нефтяных и газовых месторождений, для повышения поглотительной способности нагнетательных скважин, при изоляции пластовых вод и т.д.

Впервые модель вертикальной трещины ГРП в условиях плоской деформации была предложена в работе Ю.П. Желтова и С.А. Христиановича [1]. Процесс развития такой трещины описывается двумя группами уравнений. Первая группа описывает движение вязкой несжимаемой жидкости внутри трещины и имеет вид [2]

$$\frac{\partial w}{\partial t}+\frac{\partial q}{\partial x}=0,\ \frac{\partial p}{\partial x}=-12\mu\frac{q}{w^3} \tag{1}$$

где $w(x,t)$ - раскрытие трещины, $q(x,t)$ - скорость потока жидкости в трещине, $p(x,t)$ - давление жидкости в трещине, μ - вязкость жидкости.

Вторая группа описывает деформирование упругого пласта при воздействии на него давления $p(x,t)$ со стороны трещины и сводится к уравнению [3]:

$$p(x,t)-p_0=-\frac{E}{2\pi(1-\nu^2)}\int_0^{l(t)}\frac{\partial w(s,t)}{\partial s}\frac{sds}{s^2-x^2},0\le x\le l(t) \tag{2}$$

где p_0 - внешнее давление, E и ν – упругие модули, $l(t)$ - текущая длина трещины.

Таким образом, задача о развитии трещины ГРП описывается уравнениями (1) - (2) для неизвестных функций $q(x,t)$, $w(x,t)$ и $p(x,t)$. К этим уравнениям необходимо добавить начальные и граничные условия. В качестве начального условия будем считать, что при $t=0$ задано начальное положение трещины w_0 (x)

$$w(x,t)\big|_{t=0}=w_0(x),0\le x\le l_0 \tag{3}$$

Граничными условиями являются скорость закачки жидкости из скважины в центр трещины $x=0$ и непротекание жидкости через вершину трещины $x=l(t)$,

$$q(x,t)\big|_{x=0}=\frac{Q_0(t)}{2},t>0,\qquad q(x,t)\big|_{x=l(t)}=0,t>0 \tag{4}$$

Учитывая, что текущая длина трещины $l(t)$ также является неизвестной функцией, определяемой в процессе решения задачи, необходимо поставить ещё одно дополнительное условие для нахождения этой зависимости. В линейной механике разрушения таким условием является критерий разрушения [4] или условие роста трещины $K_I(t)=K_{IC}$, где $K_I(t)$ - коэффициент интенсивности напряжений в упругом пласте с трещиной длины $l(t)$, K_{IC} - трещиностойкость пласта, как характеристика способности материала пласта сопротивляться развитию в нем трещины нормального отрыва.

Величина $K_I(t)$ вычисляется по величине *w(x,t)* в ее вершине следующим образом [4]:

$$K_I(t) = \frac{E}{4(1-\nu^2)}\sqrt{\frac{\pi}{2}}\lim_{x\to l(t)}\frac{w(x,t)}{\sqrt{l(t)-x}} = K_{IC} \tag{5}$$

Таким образом, четыре неизвестные функции – закон распространения трещины *l(t),* величина раскрытия трещины *w(x,t),* характер распределения давления жидкости в трещине *p(x,t)* и скорость потока жидкости в трещине *q(x,t)* при t>0 находятся из трёх интегро-дифференциальных уравнений (1) – (2) в области *0<x<l(t),* начального условия (3), граничных условий (4) и критерия распространения трещины (5).

Полное решение подобной начально-краевой задачи с неизвестной границей может быть выполнено только численно. При попытках аналитического решения сложенных начально-краевых задач часто прибегают к использованию автомодельных переменных и поиску автомодельных решений [5, 6].

Подобный анализ автомодельных решений в задаче о развитии трещины ГРП был представлен в работе [7]. Ряд автомодельных решений был выполнен в работах [8,9]. В данной работы основные уравнения были собраны для построения численного конечно-разностного расчета процесса развития трещины ГРП.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Желтов Ю.П., Христианович С.А.* О гидравлическом разрыве нефтеносного пласта // Изв. АН СССР. ОТН. - 1955. - №5. - С. 3-41.

2. *Лойцянский А. Г.* Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. – 840 с.

3. *Партон В.З., Перлин П.И.* Интегральные уравнения теории упругости. М.: Наука, 1977. – 312с.

4. *Черепанов Г.П.* Механика хрупкого разрушения. - М.: Наука, 1974.-640с.

5. *Garagash D., Detournay E.* Similary solution of a semi-infinite fluid-driven fracture in a linear elastic solid // C.R. Acad. Sci. Paris. 1998 . V.326. Ser.2. P. 285-292.

6. *Garagash D., Detournay E.* The tip region of a fluid – driven fracture in an elastic medium // Trans. ASME. J. Appl. Mech. - 2000. - Vol. 67. - P.183-192.

7. *Пергамент А.Х., Улькин Д.А.* Автомодельные асимптотики в задаче о распространении трещины гидроразрыва в плоско-деформированной среде // Препринт института прикладной математики им М. В. Келдыша РАН. Москва, 2007.- 30с.

8. *Астафьев В.И., Федорченко Г.Д.* Автомодельное решение задачи о развитии трещины гидроразрыва пласта // Вестник СамГУ. 2007. №4(54).с. 24-41.

9. *Зазовский А.Ф., Одишария М.Г., Песляк Ю.А.* Автомодельные решения задачи о распространении трещины гидроразрыва в непроницаемой горной породе // Изв. АН СССР, МТТ. 1986. №5. С. 92-100.